



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MATEMATIKY

INSTITUTE OF MATHEMATICS

**SLEDOVÁNÍ STABILITY PROCESU POPSANÉHO
ATRIBUTIVNÍ I SPOJITOU VELIČINOU**

STATISTICS CONTROL OF PROCESS DESCRIBED BY ATTRIBUTIVE AND CONTINUES VARIABLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

HANA SVOBODOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF BEDNÁŘ, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav matematiky
Studentka: **Hana Svobodová**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Matematické inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Josef Bednář, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Sledování stability procesu popsaného atributivní i spojitou veličinou

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Sledování stability procesu popsaného atributivní i spojitou veličinou (SPC) a stanovení dominantních faktorů způsobujících nestabilitu. Při řešení se předpokládá využití regulačních diagramů a testování statistických hypotéz.

Cíle bakalářské práce:

1. Popis regulačních diagramů.
2. Seznámení s testy vymežitelných příčin.
3. Aplikace regulačních diagramů na konkrétní proces.

Seznam doporučené literatury:

MELOUN, M. a J. MILITKÝ. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Academica, 2002.

Minitab User's Guide 2: Data Analysis and Quality tools. USA, 2000.

ANDĚL, J. Základy matematické statistiky. Praha: MATFYZPRESS, 2005.

MONTGOMERY, D. C. a G. C. RUNGER. Applied Statistics and Probability for Engineers. Third Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. RNDr. Josef Šlapal, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce má za cíl přiblížit problematiku regulačních diagramů. První část shrnuje poznatky o regulačních diagramech včetně jejich rozdělení podle typu sledované veličiny. Jednotlivé druhy diagramů jsou podrobně popsány. Druhá část se zabývá praktickým využitím regulačních diagramů při použití reálných dat. Na datech jsou použity testy vymezitelných příčin a hledají se příčiny selhání. Klíčové je posouzení stability procesu.

Summary

This thesis aims at approaching the problem of control diagrams. The first part summarizes the theoretical knowledge about the control diagrams, including their sorting based on the type of the monitored quantity. The different types of diagrams are described in detail. The second part deals with the practical use of control diagrams using actual data. Tests of definable causes are used on these data, and the causes of failure are sought. The key is to assess process stability.

Klíčová slova

Regulační diagram, stabilita, variabilita, regulační meze

Keywords

Control chart, stability, variability, control limits

SVOBODOVÁ, H. *Sledování stability procesu popsaného atributivní i spojitou veličinou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Bednář, Ph.D..

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „*Sledování stability procesu popsaného atributivní i spojitou veličinou*“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Josefa Bednáře, Ph.D. s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu literatury.

Hana Svobodová

Chtěla bych tímto poděkovat panu Ing. Josefu Bednářovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce.

Hana Svobodová

Obsah

1	Úvod	12
2	Regulační diagramy	13
2.1	Typy regulačních diagramů	14
2.2	Spojité data	14
2.2.1	Regulační diagram I-MR	14
2.2.2	Regulační diagram \bar{X}	16
2.3	Atributivní data	19
2.3.1	Regulační diagram p	19
2.3.2	Regulační diagram np	20
2.3.3	Regulační diagram u	21
2.3.4	Regulační diagram c	21
2.4	Základní předpoklady	22
2.5	Konstrukce diagramů	22
2.6	Testy vymežitelných příčin	23
3	Praktické použití regulačních diagramů	25
3.1	Data s atributivní veličinou	25
3.1.1	Původ dat	25
3.2	Data se spojitou veličinou	26
3.2.1	Původ dat	26
3.2.2	Použití regulačního diagramu I-MR	27
4	Závěr	33
	Seznam použitých zdrojů	34
	Seznam použitých zkratk a symbolů	35
	Seznam příloh	36

1 Úvod

V reálném procesu se setkáváme s tím, že se naměřené hodnoty liší od požadovaných hodnot. Je nutné výskyt těchto odchylek kontrolovat, aby výsledek procesu co nejvíce odpovídal cílovým požadavkům. Je důležité, aby se nejen snížila variabilita procesu, ale také zajistila jeho stabilita. Jedním z nepříznivých důsledků výskytu odchylek je možné snížení zisku. K vymezení příčin vzniku chyb se využívá metoda SPC (Statistic Process Control). Hlavním nástrojem této metody jsou regulační diagramy.

Tato práce obsahuje rozdělení základních diagramů pro atributivní a spojitou veličinu. Jednotlivé diagramy byly definovány a příklady jejich sestavení byly graficky znázorněny. Byly zde popsány důležité předpoklady, které bylo nutné splnit, aby diagram mohl být aplikován. Dále byly vysvětleny jednotlivé kroky konstrukce diagramu. Pro odhalení potenciálních poruch v procesu byly použity testy vymezených příčin. Jestliže jsme na základě těchto testů došli k závěru, že se jedná o poruchu, snažili jsme se jí zabránit vhodným zásahem do procesu. Jako hlavní zdroje definic v kapitole 2 byli použity [1], [2] a [4].

Pro praktickou aplikaci regulačních diagramů s atributivní veličinou byla použita data z výrobního procesu světlometů do automobilu. Pro aplikaci regulačních diagramů se spojitou veličinou byla použita data, která byla nasbírána při cestách autem mezi Olomoucí a Brnem. Reálně jsme se v nich snažili dohledat příčiny vzniklých poruch na základě známých faktorů.

Pro konstrukci diagramů byl využit program Minitab 18.

2 Regulační diagramy

Regulační diagramy, nebo také Shewhartovy diagramy, slouží k posouzení stability procesu. Tedy, zda se daný proces chová podle očekávání, především jestli nedošlo k nečekané změně. Pokud k takové změně došlo, je nutné ji vysvětlit a zasáhnout.

Pokud není nutné zasahovat, proces se nazývá stabilní. Tedy vyskytují se v něm pouze náhodné příčiny kolísání. Stabilní proces se chová v každém okamžiku stejně, takže je predikovatelný. Predikovatelné procesy jsou levnější než procesy chovající se chaoticky. Mimo náhodné příčiny kolísání se na procesu projevují i vymezitelné příčiny kolísání. Působením těchto příčin dochází k významným změnám procesu.

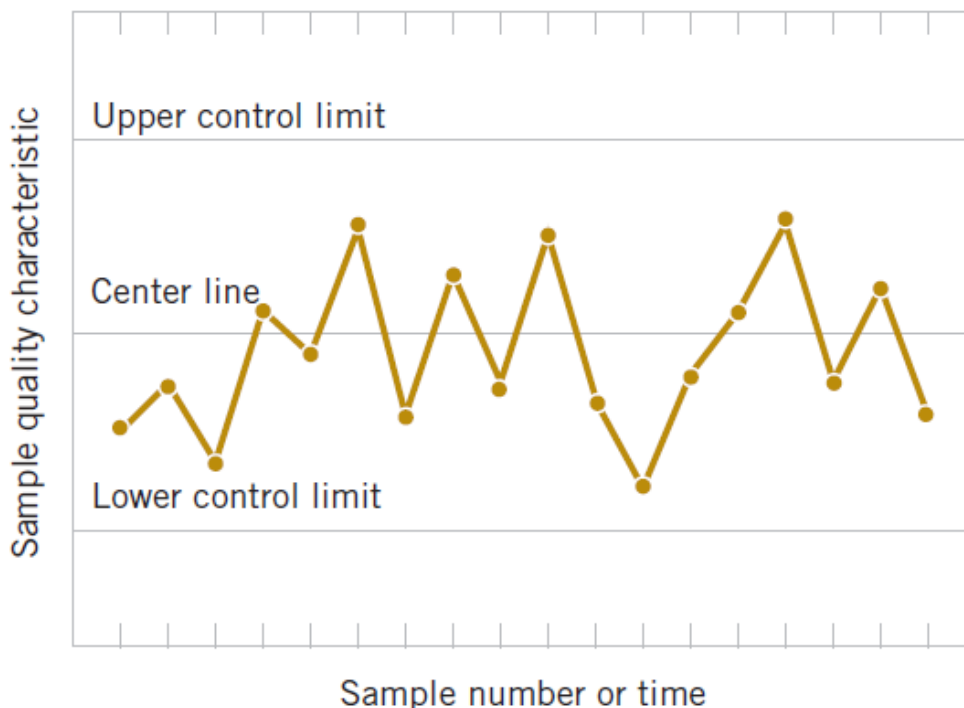
Pro diagram je nutné sestavit statistický model. Nechť W je zkušební statistika, která měří míru kvality. Kde střední hodnotu značíme μ_W a směrodatnou odchylku σ_W . Poté centrální přímka CL, horní regulační mez UCL a dolní regulační mez LCL jsou dány vztahy:

$$CL = \mu_W \quad (2.1)$$

$$UCL = \mu_W + k\sigma_W \quad (2.2)$$

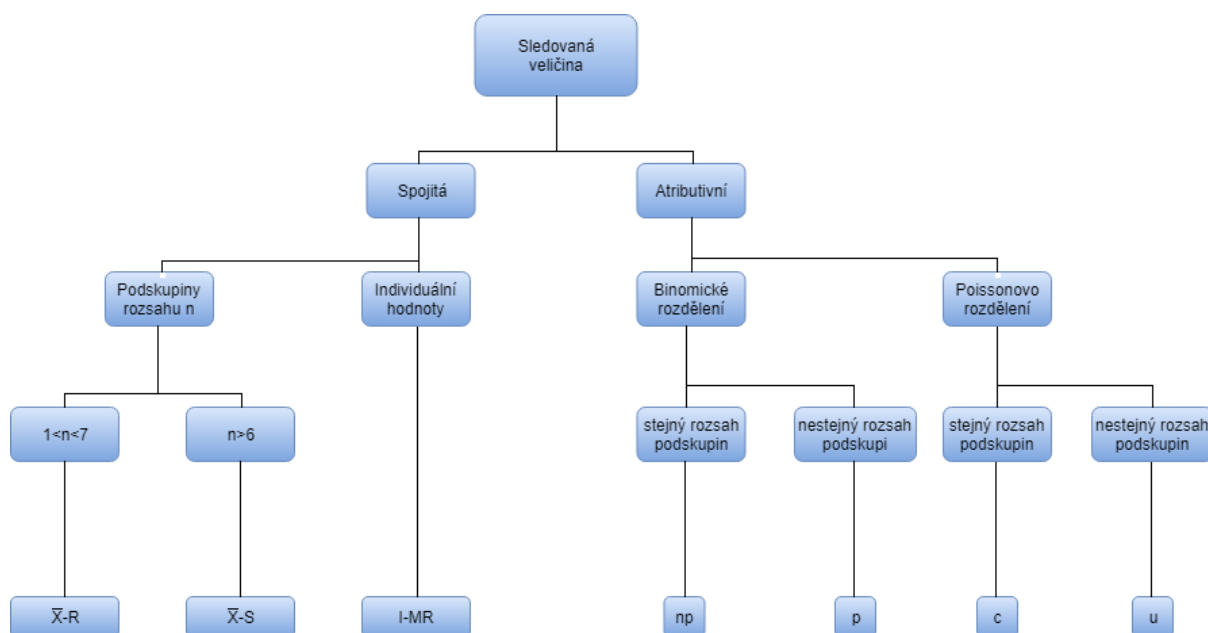
$$LCL = \mu_W - k\sigma_W \quad (2.3)$$

Kde k je konstanta udávající vzdálenost od centrální přímky vyjádřená ve směrodatných odchylkách. Pokud má veličina W normální rozdělení volí se $k=3$.



Obrázek 2.1: Regulační diagram [1]

2.1 Typy regulačních diagramů



Obrázek 2.2: Rozdělení diagramů

2.2 Spojitá data

2.2.1 Regulační diagram I-MR

Regulační diagram I-MR se používá v případě, pokud není vhodné naměřené hodnoty rozdělovat do podskupin. Například pokud rychlost výroby je pomalá, nebo pokud se každá výrobní jednotka analyzuje samostatně.

Tento typ grafu je citlivější na porušení předpokladu normality dat. Skládá se ze dvou diagramů I a MR. Do diagramu I se vynášejí přímo naměřené individuální hodnoty. MR využívá klouzavé rozpětí dvou po sobě jdoucích pozorování k posouzení krátkodobé variability procesu. Rozpětí pohybu je definováno jako $MR_i = |X_i - X_{i-1}|, i = 2, \dots, m$. Pro m pozorování je průměrné klouzavé rozpětí

$$\overline{MR} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=2}^m |X_i - X_{i-1}| \quad (2.4)$$

Odhad směrodatné odchylky je

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = \frac{\overline{MR}}{1.128} \quad (2.5)$$

kde hodnota pro d_2 odpovídá $n=2$, protože každé klouzavé rozpětí je mezi dvěma po sobě jdoucími pozorováními.

Parametry pro I diagram jsou

$$UCL = \bar{X} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = \bar{X} + 3\frac{\overline{MR}}{1.128} \quad (2.6)$$

$$CL = \bar{X} \quad (2.7)$$

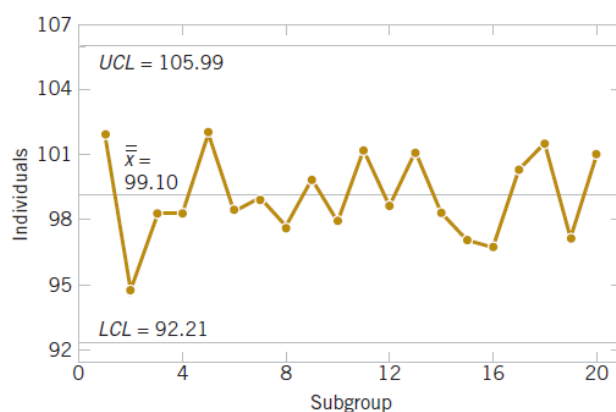
$$LCL = \bar{X} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = \bar{X} - 3\frac{\overline{MR}}{1.128} \quad (2.8)$$

Parametry pro MR diagram jsou

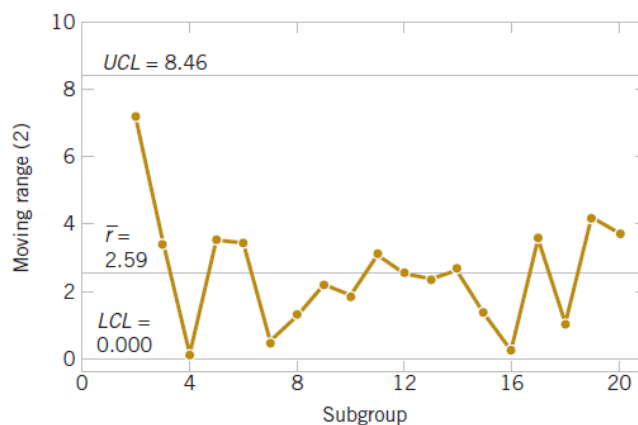
$$UCL = D_4\overline{MR} = 3.267\overline{MR} \quad (2.9)$$

$$CL = \overline{MR} \quad (2.10)$$

$$LCL = D_3\overline{MR} = 0 \quad (2.11)$$



Obrázek 2.3: Příklad znázornění I diagramu [1]



Obrázek 2.4: Příklad znázornění MR diagramu [1]

2.2.2 Regulační diagram \bar{X}

Používá se při řešení kvalitativní charakteristiky. Využívá se pro data, která se dělí do m racionálních podskupin. Každá tato skupina obsahuje stejný počet měření n . Tato měření lze zapsat do matice $m \times n$. Pro sledování odhadu střední hodnoty podskupiny používáme \bar{X} diagram. Proces variability se řídí buď rozpětím grafu (R diagram) nebo směrodatnou odchylkou (S diagram), v závislosti na tom, jak se odhaduje směrodatná odchylka.

Parametry \bar{X} diagramu jsou

$$UCL = \mu + 3\sigma/\sqrt{n} \quad (2.12)$$

$$CL = \mu \quad (2.13)$$

$$LCL = \mu - 3\sigma/\sqrt{n} \quad (2.14)$$

Pokud parametry μ a σ nejsou známy, je obvyklé je odhadnout z předběžných výsledků. Pak odhadujeme průměr výsledků jako

$$\hat{\mu}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (2.15)$$

kde X_{ij} je naměřená hodnota s rozptylem σ^2 a střední hodnotou $\mu = \mu_{\bar{X}}$. Hodnotu $\bar{\bar{X}}$ označíme jako centrální přímkou v regulačním diagramu.

Regulační diagram \bar{X} -R

Je nutné zavést vztah mezi rozpětím R vzorku se známými parametry a směrodatnou odchylkou. Zavedeme relativní rozpětí

$$W = \frac{R}{\sigma} \quad (2.16)$$

Jelikož je R náhodná veličina, tak i W je náhodná veličina. Průměr a směrodatná odchylka W se nazývá d_2 a d_3 a závisí na velikosti podskupiny n . Jejich hodnoty jsou dostupné v tabulkách nebo v počítačovém softwaru. Z $R = W\sigma$ plyne

$$\mu_R = d_2\sigma \quad (2.17)$$

$$\sigma_R = d_3\sigma \quad (2.18)$$

Nechť R_i je rozpětí i -tého vzorku a střední hodnota je

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \quad (2.19)$$

Z rovnic (2.15) a (2.16) plyne, že odhad σ je

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.20)$$

Pomocí $\bar{\bar{X}}$ a \bar{R} můžeme zadefinovat horní a dolní regulační mez jako

$$UCL = \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R} \quad (2.21)$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R} \quad (2.22)$$

Parametry diagramu R mohou být snadno určeny. Pro určení regulačních mezí potřebujeme směrodatnou odchylku σ_R a rozpětí R.

$$\hat{\sigma}_R = d_3\hat{\sigma} = d_3\frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.23)$$

Poté dolní a horní regulační mez diagramu \bar{X} -R jsou

$$UCL = \bar{R} + \frac{3d_3}{d_2}\bar{R} = (1 + \frac{3d_3}{d_2})\bar{R} \quad (2.24)$$

$$LCL = \bar{R} - \frac{3d_3}{d_2}\bar{R} = (1 - \frac{3d_3}{d_2})\bar{R} \quad (2.25)$$

Dolní regulační mez pro R diagram může být záporné číslo. V tom případě se obvykle nastaví LCL na nulu. Protože body R grafu nejsou záporné, nemůže se stát, že by nějaký bod padl pod dolní regulační mez. Je nutné nejdříve studovat graf R, pokud není variabilita procesu konstantní v čase, tak regulační meze vypočítané pro diagram \bar{X} mohou být zavádějící.

Regulační diagram \bar{X} -S

Zakládá se na vykreslení regulačního diagramu na základě výpočtu směrodatné odchylky každé podskupiny. Tyto odchylky se používají pro výpočet regulačních mezí. S je předurčený odhad, proto $E(S)=c_4\sigma$, kde c_4 je konstanta, která je blízka 1.

Parametry S diagramu jsou

$$UCL = c_4\sigma + 3\sigma\sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.26)$$

$$CL = c_4\sigma \quad (2.27)$$

$$LCL = c_4\sigma - 3\sigma\sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.28)$$

Předpokládejme, že máme m vzorků každý o velikosti n. Označíme S_i jako směrodatnou odchylku i-tého vzorku. Pak odhad směrodatné odchylky je

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i \quad (2.29)$$

Dále odhad σ je

$$\hat{\sigma} = \bar{S}/c_4 \quad (2.30)$$

2.2. SPOJITÁ DATA

Parametry diagramu S jsou

$$UCL = \bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.31)$$

$$CL = \bar{S} \quad (2.32)$$

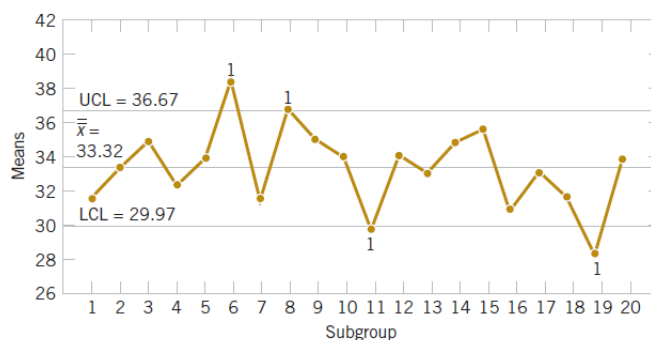
$$LCL = \bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.33)$$

Poté parametry diagramu \bar{X} -S jsou

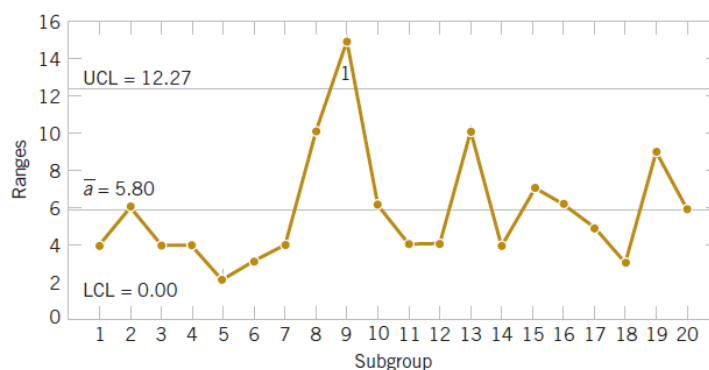
$$UCL = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}} \quad (2.34)$$

$$CL = \bar{\bar{X}} \quad (2.35)$$

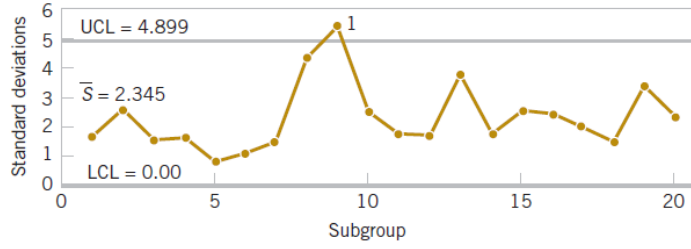
$$LCL = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}} \quad (2.36)$$



Obrázek 2.5: Příklad znázornění \bar{X} diagramu [1]



Obrázek 2.6: Příklad znázornění R diagramu [1]



Obrázek 2.7: Příklad znázornění S diagramu [1]

2.3 Atributivní data

2.3.1 Regulační diagram p

Používá se při zjišťování, zda je nějaký prvek vadný a tedy nevyhovující. K posouzení se používá p diagramu. V náhodném vzorku n se hledá počet nevyhovujících $D \sim Bi(n, p)$ s neznámým parametrem p . Podíl nevyhovujících prvků pak je

$$p = \frac{D}{n} \quad (2.37)$$

Udává pravděpodobnost výskytu vady jednotek. Rozpětí p je pak

$$\sigma_p^2 = \frac{p(1-p)}{n} \quad (2.38)$$

Parametry diagramu p sestaveny pomocí neznámé p jako centrální přímkou jsou

$$UCL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (2.39)$$

$$LCL = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (2.40)$$

Bohužel reálná pravděpodobnost procesu je téměř vždy neznámá. Je tedy nutné ji odhadnout. Předpokládáme, že máme m vzorků, každé o velikosti n . Pak D_i je počet defektů i -tého vzorku. Dále $p_i = \frac{D_i}{n}$ pravděpodobnost výskytu vadných jednotek v i -tém vzorku. Proto odhad pravděpodobnosti je

$$\bar{p} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m p_i = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m D_i \quad (2.41)$$

Nyní jsou parametry diagramu s centrální přímkou \bar{p}

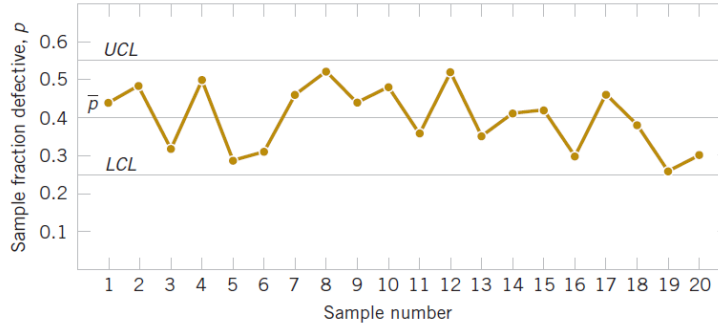
$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.42)$$

$$CL = \bar{p} \quad (2.43)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.44)$$

2.3. ATRIBUTIVNÍ DATA

Tyto hodnoty regulačních mezí jsou založeny na přiblížení se k binomickému rozdělení. Pokud je p malé, je možné regulační meze získat přímo z tabulky binomických rozdělení. Pokud dolní regulační mez vyjde jako záporné číslo, je obvyklé převést ho na nulu. Stejně pokud horní regulační mez je větší než 1, převede se na 1.



Obrázek 2.8: Příklad znázornění p diagramu [1]

2.3.2 Regulační diagram np

Používá se pro sledování podílu nevyhovujících jednotek z procesu. Je ekvivalentní k p diagramu. Používá se pro zlepšení hodnot oproti diagramu p. Z pravděpodobnosti p jsme schopni sestavit parametry diagramu

$$UCL = np + 3\sqrt{\frac{np(1-p)}{n}} \quad (2.45)$$

$$CL = np \quad (2.46)$$

$$LCL = np - 3\sqrt{\frac{np(1-p)}{n}} \quad (2.47)$$

Opět je nutné reálnou pravděpodobnost odhadnout pomocí rovnice (2.39). Poté jsou parametry diagramu np

$$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{\frac{n\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.48)$$

$$CL = n\bar{p} \quad (2.49)$$

$$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{\frac{n\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.50)$$

2.3.3 Regulační diagram u

Používá se pokud je potřeba sledovat spíše počet defektů na jednotku. Pokud má jednotku o velikosti n s c defekty, můžeme definovat průměrný počet vad na jednotku jako

$$u = \frac{c}{n} \quad (2.51)$$

Počet vad na jednotce je modelováno Poissonovým rozdělením. Předpokládáme, že počet vad je Poissonova náhodná proměnná se střední hodnotou λ a rozpětím rovným λ . Potom pokud jednotka velikosti n má průměrný počet defektů na jednotku u , pak průměr u je λ a rozpětí je λ/n . Se známým parametrem λ definujeme parametry diagramu

$$UCL = \lambda + 3\sqrt{\frac{\lambda}{n}} \quad (2.52)$$

$$CL = \lambda \quad (2.53)$$

$$LCL = \lambda - 3\sqrt{\frac{\lambda}{n}} \quad (2.54)$$

Pokud máme m vzorků, pak u_i je počet defektů i -tého vzorku a odhad průměrného počtu vad je

$$\bar{u} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m u_i \quad (2.55)$$

Odhad \bar{u} se použije místo λ . Tedy parametry diagramu u jsou

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (2.56)$$

$$CL = \bar{u} \quad (2.57)$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (2.58)$$

Tyto hodnoty regulačních mezí jsou založeny na přiblížení se k Poissonovu rozdělení. Pokud je λ malé, je možné regulační meze získat přímo z tabulky kvantilu Poissonových rozdělení. Pokud dolní regulační mez vyjde jako záporné číslo, je obvyklé převést ho na nulu.

2.3.4 Regulační diagram c

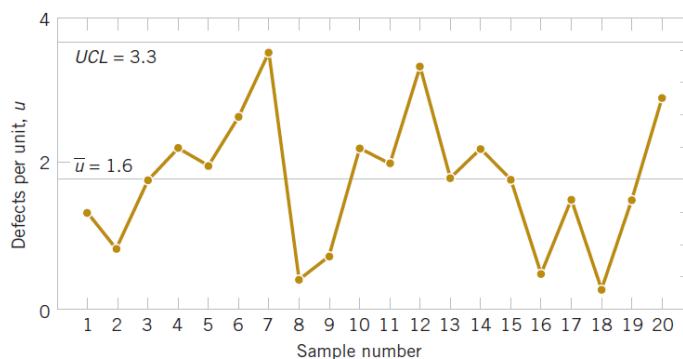
Používá se, pokud chceme zhodnotit celkový počet vad ve vzorku. Je ekvivalentní s u diagramem. Pouze c označuje počet chyb ve vzorku. Odhad \bar{c} se vypočítá pomocí rovnice (2.53). Parametry diagramu c jsou

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.59)$$

$$CL = \bar{c} \quad (2.60)$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.61)$$

2.4. ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY



Obrázek 2.9: Příklad znázornění u diagramu [1]

2.4 Základní předpoklady

1. Normalita rozdělení dat, symetrie
2. Konstantní střední hodnota procesu
3. Konstantní rozptyl (směrodatná odchylka) dat
4. Nezávislost, nekorelovanost dat
5. Nepřítomnost vybočujících hodnot

Před samotnou konstrukcí diagramů je nutné otestovat jednotlivé předpoklady. Pokud je zdroj náhodný a nepředpokládá se, že se bude opakovat, mohou být problematická data vyloučena a diagram zkonstruován bez nich. Jestliže je porušení systematické, dá se považovat za inherentní vlastnost systému a tedy nelze ji vynechat. V tomto případě se musí uvažovat nad jiným typem regulačního diagramu.

2.5 Konstrukce diagramů

1. Zvolí se část procesu, která je vhodná dle naší představy, nebo předpisu a připravíme si procesní data.
2. Na základě vybraných dat stanovíme statistický model.
3. Ze střední hodnoty a směrodatné odchylky se zkonstruuje regulační diagram. Diagram je tvořen centrální přímkou CL a horní a dolní regulační mezí LCL a UCL vzdálenou $\pm 3\sigma$.
4. Do tohoto diagramu se vynášejí další data z procesu a sleduje se výskyt vymezitelných případů (základní je překročení regulační meze).
5. Výskyt těchto případů se eviduje a hledá se tzv. přiřaditelná příčina a opatření, které bylo přijato.

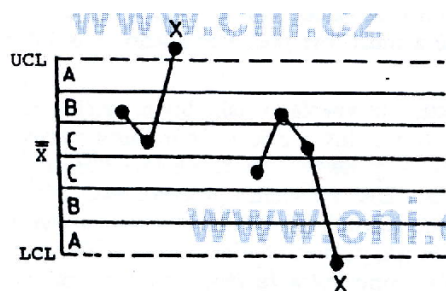
2.6 Testy vymežitelných příčin

Pro interpretaci některých seskupení regulačních diagramů se používá osm doplňkových testů. Tyto testy by měly být chápány jako jednoduchá pravidla pro zásah, pokud se objevuje přítomnost vymežitelných příčin. Náznak některého z těchto stavů je předzvěstí přítomnosti kolísání, které je nutno identifikovat a opravit.

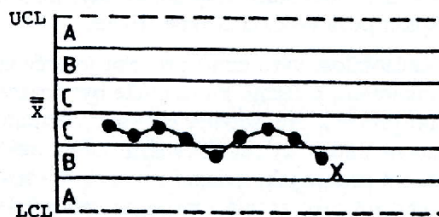
Horní a dolní regulační meze jsou ve vzdálenosti 3σ nad a pod centrální přímkou. Pro aplikaci testů je diagram rovnoměrně rozdělen do šesti pásem, jedno pásmo má šíři σ a jsou označena písmeny A, B, C, C, B, A (viz. obrázek 2.10). Tyto testy se používají pro \bar{X} -diagramy a pro X-diagramy. Předpokládá se rovnoměrné rozdělení.

1. Jeden bod leží za zónou A.
2. Devět bodů v řadě za sebou leží v zóně C nebo za ní.
3. Šest bodů v řadě za sebou je stoupajících nebo klesajících.
4. Čtrnáct bodů v řadě za sebou kolísá nahoru a dolů.
5. Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni.
6. Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo na ní.
7. Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C.
8. Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách od centrální přímkou, avšak žádný bod neleží v zóně C.

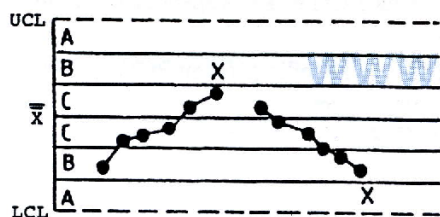
2.6. TESTY VYMEZITELNÝCH PŘÍČIN



Test 1: Jeden bod leží za zónou A



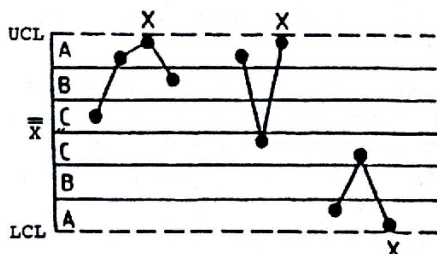
Test 2: Devět bodů v řadě za sebou leží v zóně C nebo za ní



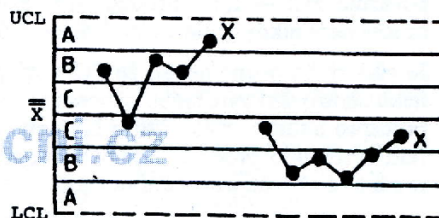
Test 3: Šest bodů v řadě za sebou je plynně stoupajících nebo klesajících



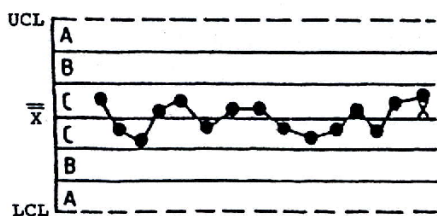
Test 4: Čtrnáct bodů v řadě za sebou pravidelně kolísá nahoru a dolů



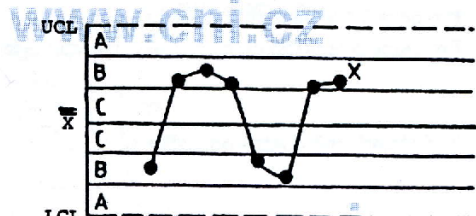
Test 5: Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni



Test 6: Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo na ní



Test 7: Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C (nad a pod centrální přímkou)



Test 8: Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách od centrální přímkou, avšak žádný bod neleží v zóně C

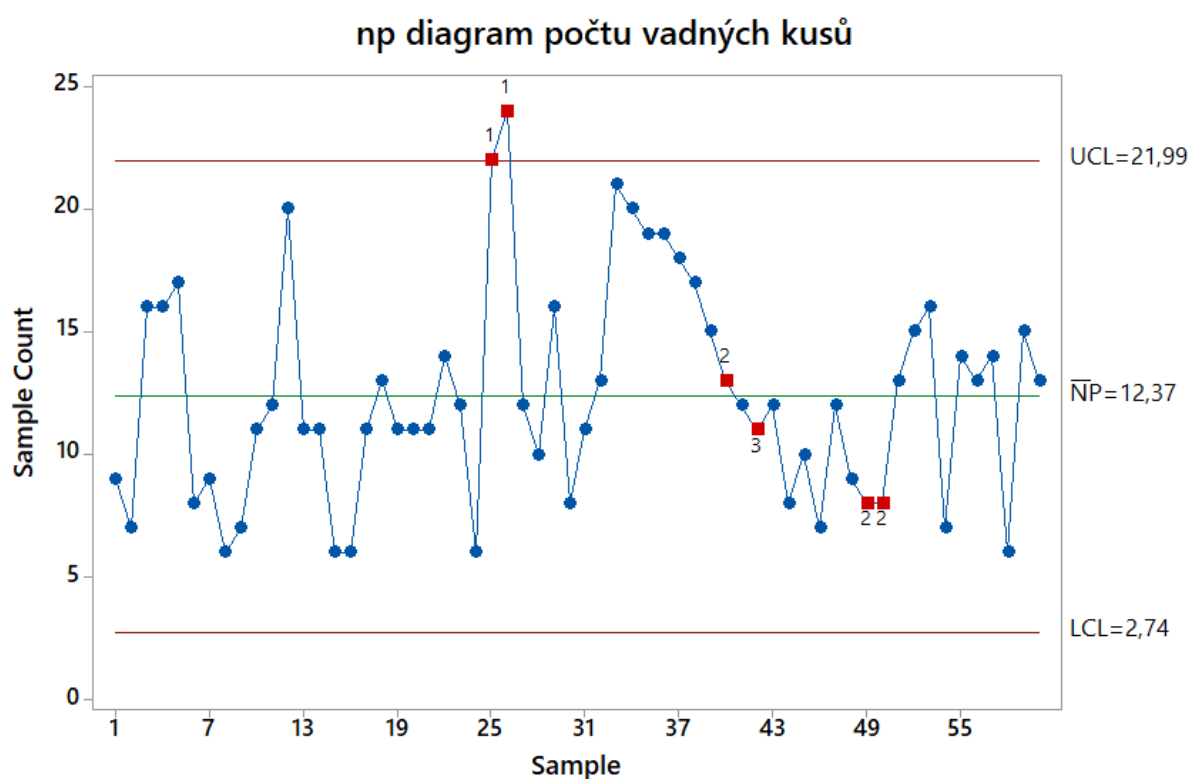
Obrázek 2.10: Testy vymežitelných příčin [4]

3 Praktické použití regulačních diagramů

3.1 Data s atributivní veličinou

3.1.1 Původ dat

Pro vyhodnocení stability jsem si vybrala data z procesu výroby. Jednalo se o kompletaci světlometů do automobilu. Pro zpracování se zaznamenávala data, pro které se za každou hodinu vyrobilo 74 kompletních světlometů. Z každé dávky se poté evidoval počet vadných kusů, které bylo nutné buď vrátit na opravu do výroby, nebo zlikvidovat. Pro posouzení stability procesu byl použit np diagram.



Obrázek 3.1: Diagram počtu vad

Diagram selhal v bodech 25, 26 pro test 1, v bodech 40, 49 a 50 pro test 2 a v bodu 42 pro test 3. Velké množství vad v bodech 25 a 26 bylo způsobeno vadou robotu, který lepí sklo světla. Byl problém zjistit vadu a rychle ji odstranit. Velké klesání vad a vady v bodech 40 a 42 byly způsobeny přivedením nového brigádníka do skupiny, kterému trvalo se zaučit a nejdříve způsoboval zvýšení závadnosti. Chyby v bodech 49 a 50 nemají dohledatelný význam.

Ve výrobě je mnoho možností proč může být světlo vyřazeno z prodeje. Často se stává, že se do světlometu dostane volná součástka která tam nepatří (např. šroub), nebo část světlometu je špatně umístěna. Špatnou manipulací se může i ulomit nějaký úchyt, nebo se poškrábe čelní sklo. Některé světlometry s menšími vadami lze použít například jako

3.2. DATA SE SPOJITOU VELIČINOU

náhradní součástky, jiné vady je nutné eliminovat, světlo se musí rozebrat a znovu použitelné součástky vyjmout. Případně pokud nelze světlo rozebrat je nutné ho znehodnotit a zlikvidovat.

Pro větší stabilitu procesu je dobré držet si pracovníky, kteří jsou schopní a už svoji práci umí, než platit levnější brigádníky, kteří ale mohou způsobit finanční škody na zničených součástkách. Také je nutné průběžně kontrolovat, jestli nevzniká nějaká chyba vlivem vady některého ze strojů. Lidský faktor se ovšem ve výrobě projevuje neustále.

3.2 Data se spojitou veličinou

3.2.1 Původ dat

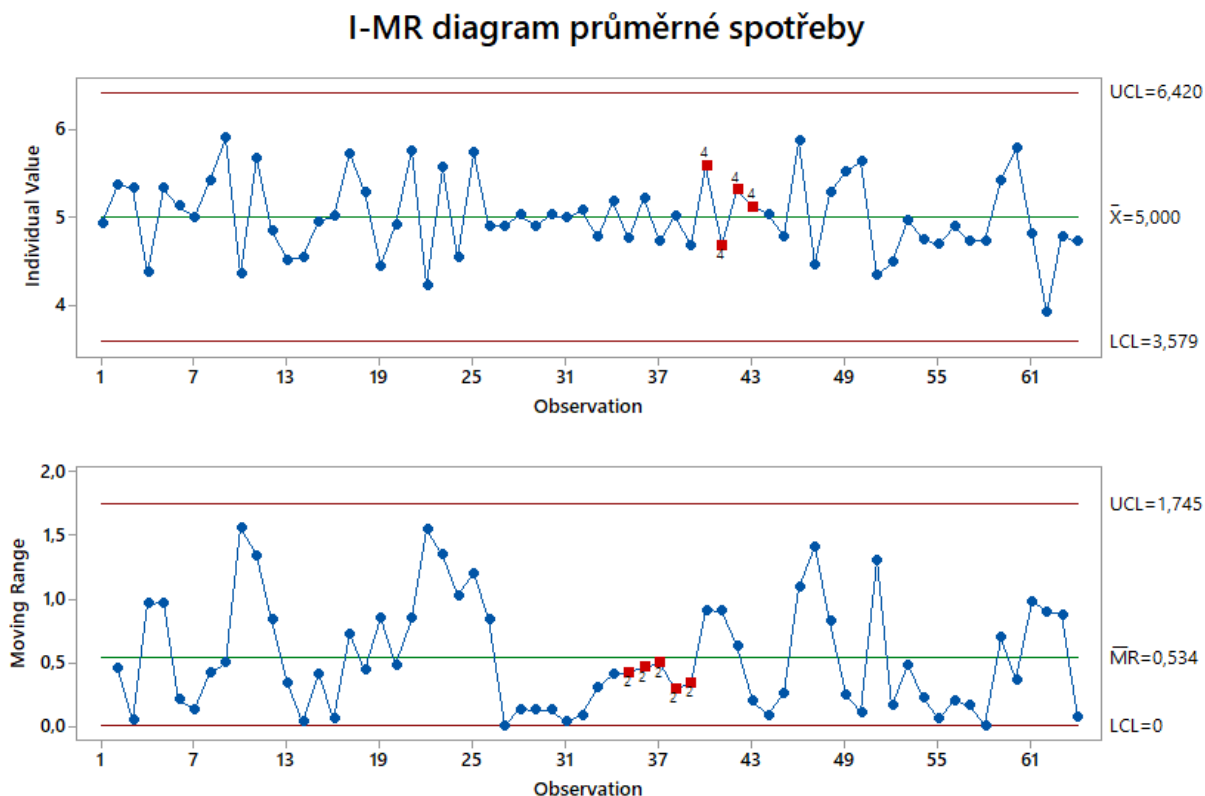
Pro sběr dat jsem využila měření parametrů cesty autem mezi Olomoucí a Brnem. Hlavními parametry měření byla doba cesty, počet ujetých kilometrů a spotřeba auta. Abych zajistila přesnost měření spotřeby, dotankovala jsem po každé cestě do plné nádrže a na stejné benzínové pumpě. Takto se zamezilo vychýlení výsledku různě kvalitní naftou a různými druhy tankovacích pistolí. Jako doplňková data pro zjištění ovlivnění jsem zaznamenávala teplotu, počet cestujících v autě a případné dopravní nehody. Celkově bylo nasbíráno 74 cest, které jsem ale nakonec zreukovala na 64 cest kvůli chybějím informacím k některým cestám.

#	C1-T	C2-T	C3-T	C4-T	C5-D	C6-D	C7-D	C8	C9	C10	C11-D	C12	C13	C14	C15
	Datum	Den	Odkud	Kam	Čas odjezdu	Čas příjezdu	Doba cesty	Doba v min	Km	Teplota	v čase	Cestující	Spotřeba	Spotřeba na 100km	Průměrná rychlost
1	25.9.	po	ol	br	5:47:00 AM	7:35:00 AM	1:48:00 AM	108	116	12	6:34:00 AM	4	5,71	4,92241	64,444
2	25.9.	po	br	ol	5:48:00 PM	6:55:00 PM	1:07:00 AM	67	98	16	6:24:00 PM	4	5,26	5,36735	87,761
3	27.9.	st	ol	br	5:49:00 AM	7:26:00 AM	1:37:00 AM	97	115	11	6:38:00 AM	4	6,12	5,32174	71,134
4	27.9.	st	br	ol	4:52:00 PM	6:32:00 PM	1:40:00 AM	100	87	19	5:45:00 PM	4	3,80	4,36782	52,200
5	4.10.	st	ol	br	5:40:00 AM	7:27:00 AM	1:47:00 AM	107	119	6	6:40:00 AM	4	6,34	5,32773	66,729
6	4.10.	st	br	ol	4:50:00 PM	6:14:00 PM	1:24:00 AM	84	98	15	5:35:00 PM	3	5,02	5,12245	70,000
7	5.10.	ct	ol	br	5:45:00 AM	7:32:00 AM	1:47:00 AM	107	116	10	6:46:00 AM	4	5,79	4,99138	65,047
8	5.10.	ct	br	ol	2:48:00 PM	4:06:00 PM	1:18:00 AM	78	94	19	3:23:00 PM	3	5,08	5,40426	72,308
9	9.10.	po	ol	br	5:46:00 AM	9:51:00 AM	4:05:00 AM	245	105	3	6:46:00 AM	4	6,19	5,89524	25,714
10	9.10.	po	br	ol	5:50:00 PM	7:24:00 PM	1:34:00 AM	94	99	17	6:41:00 PM	3	4,30	4,34343	63,191
11	12.10.	ct	ol	br	5:46:00 AM	7:46:00 AM	2:00:00 AM	120	107	7	6:46:00 AM	4	6,07	5,67290	53,500
12	12.10.	ct	br	ol	2:47:00 PM	4:24:00 PM	1:37:00 AM	97	89	18	3:41:00 PM	3	4,31	4,84270	55,052
13	18.10.	st	ol	br	6:00:00 AM	7:26:00 AM	1:26:00 AM	86	92	9	6:40:00 AM	2	4,15	4,51087	64,186
14	18.10.	st	br	ol	4:56:00 PM	6:15:00 PM	1:19:00 AM	79	114	14	5:33:00 PM	3	5,18	4,54386	86,582

Obrázek 3.2: Data měření

3.2.2 Použití regulačního diagramu I-MR

Spotřeba na 100 km



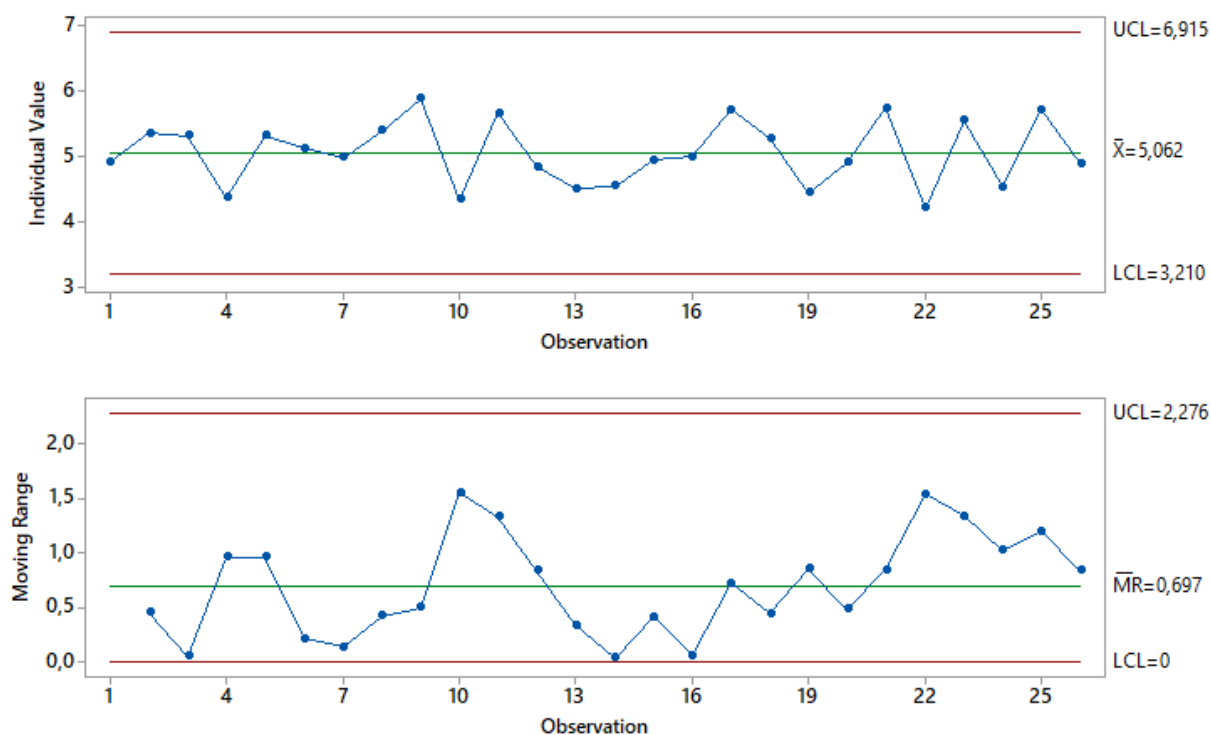
Obrázek 3.3: Diagram průměrné spotřeby

Z diagramu je vidět, že se jedná o mírně nestabilní proces. V I diagramu selhaly body 40-43 pro test 4. V MR diagramu selhaly body 35-39 pro test 2. Navíc bod 37 selhal i pro test 3. Z diagramu to není patrné, protože se pro každý bod zobrazuje pouze nejvyšší číslo selhaného testu. Tuto informaci bylo nutné dohledat ve výpisu programu.

Z diagramu jde také vidět, že kolem bodu 26 výrazně kleslo kolísání spotřeby. Z dat jediná dohledatelná změna, která tuto rozdílnost mohla zapříčinit je, že před bodem 28 byla jízda na letních pneumatikách a od bodu 28 na zimních pneumatikách. Proto jsem se rozhodla tyto jednotlivé období rozdělit a udělat I-MR diagram pro obě období.

3.2. DATA SE SPOJITOU VELIČINOU

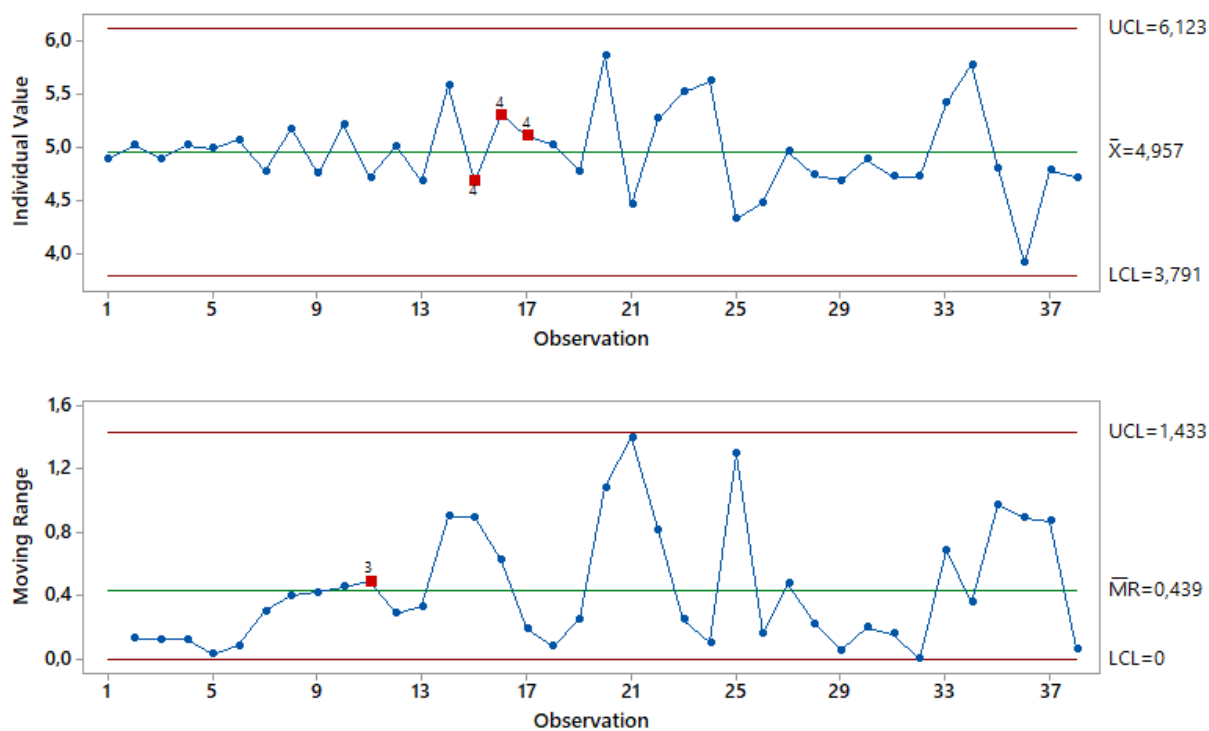
I-MR diagram spotřeby na letních pneumatikách



Obrázek 3.4: Diagram průměrné spotřeby na letních pneumatikách

Nyní je měření spotřeby na letních pneumatikách stabilní.

I-MR diagram spotřeby na zimních pneumatikách



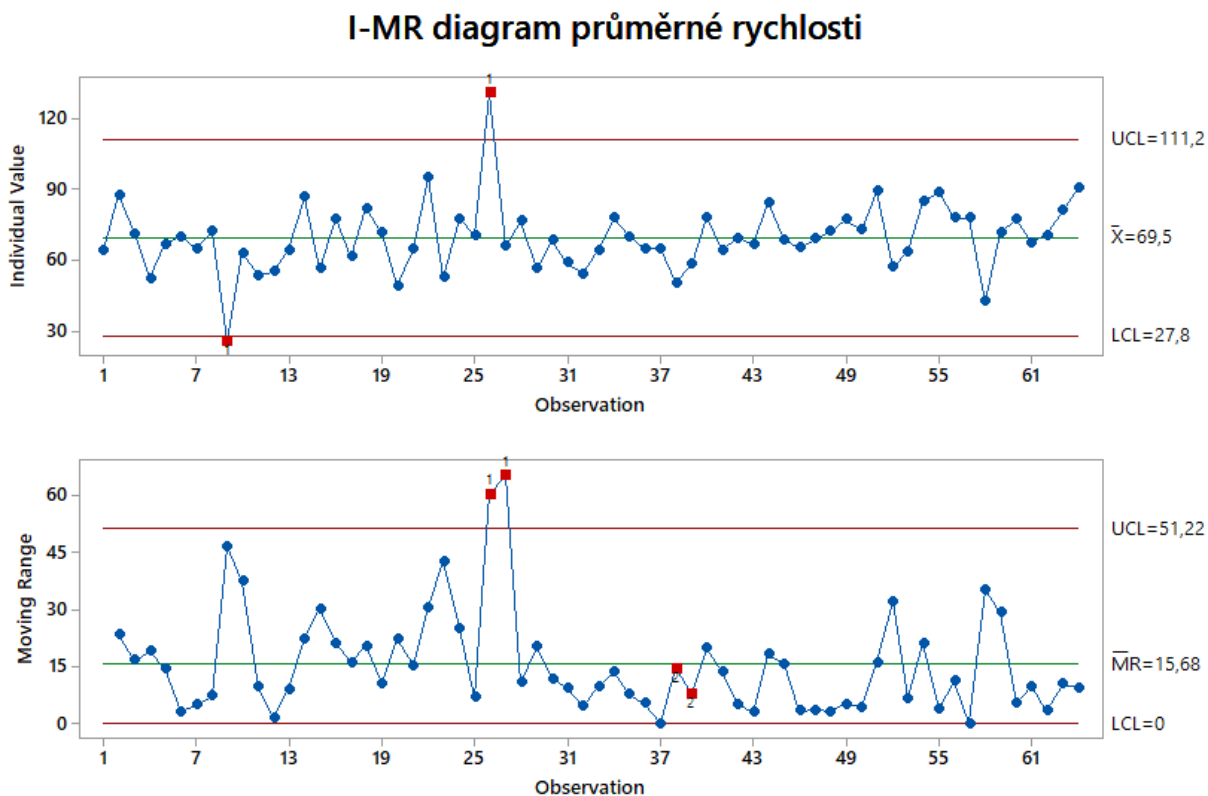
Obrázek 3.5: Diagram průměrné spotřeby na zimních pneumatikách

3. PRAKTICKÉ POUŽITÍ REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ

V I diagramu selhaly body 15,16,17 pro test 4. Pro tyto body nelze najít přímá jistá spojitost s důvodem selhání testu. V MR diagramu selhal pouze bod 11 pro test 6.

Bohužel jsme nedocílili úplné stability, ani nebylo možné vysvětlit všechna selhání, ale rozdělení měření pro spotřebu zlepšilo výsledky.

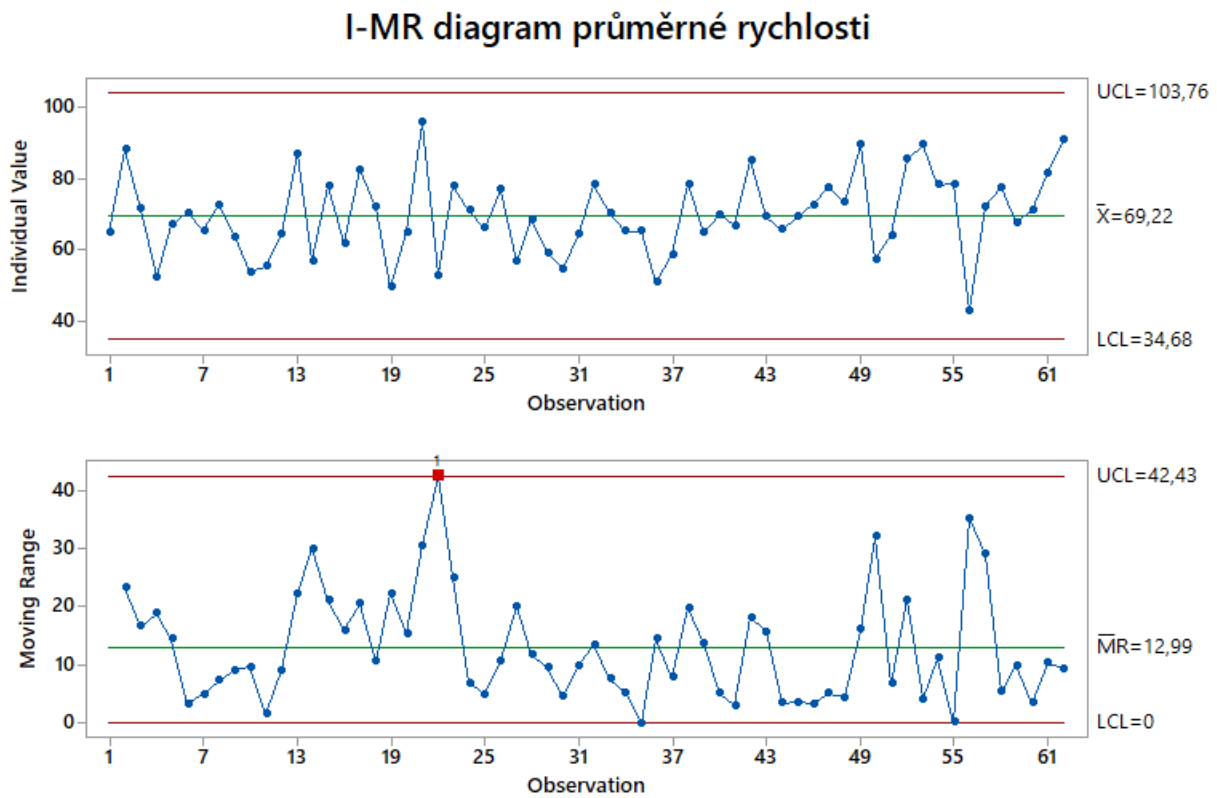
Průměrná rychlost



Obrázek 3.6: Diagram průměrné rychlosti

V I diagramu selhaly body 9 a 26 pro test 1. V MR diagramu selhaly body 26,27 pro test 1 a body 38,39 pro test 2. Dohledáním v datech je selhání bodu 9 způsobeno dlouhou cestou, kterou zavinila dopravní nehoda. Bod 26 je po zvážení očividně chybně naměřený, protože průměrná rychlost je příliš vysoká. Pro zlepšení stability jsem se rozhodla oba body vynechat a nechat graf vykreslit znovu.

3.2. DATA SE SPOJITOU VELIČINOU

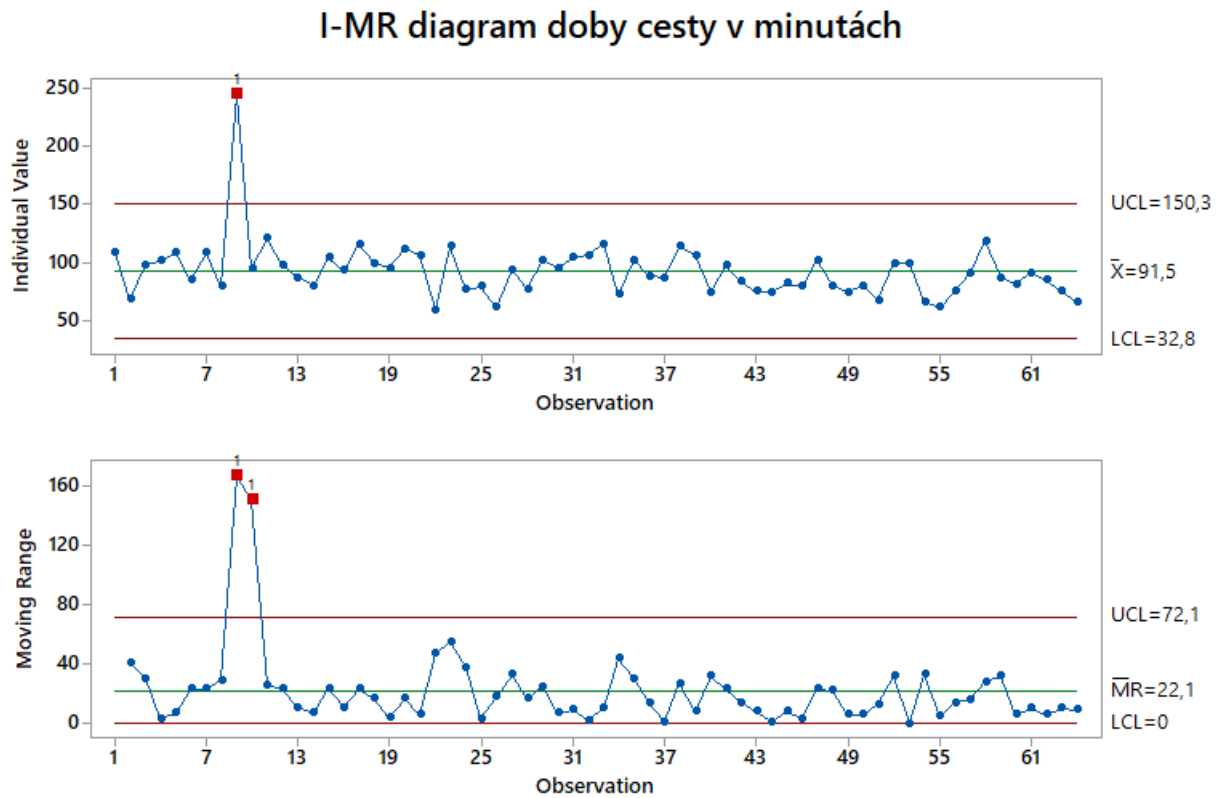


Obrázek 3.7: Diagram průměrné rychlosti - upravený

Nyní selhal v MR diagramu pouze bod 22 pro test 1. Podle dat je pro něj průměrná rychlost vyšší, ale nelze dohledat důvod, který by to způsobil.

3. PRAKTICKÉ POUŽITÍ REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ

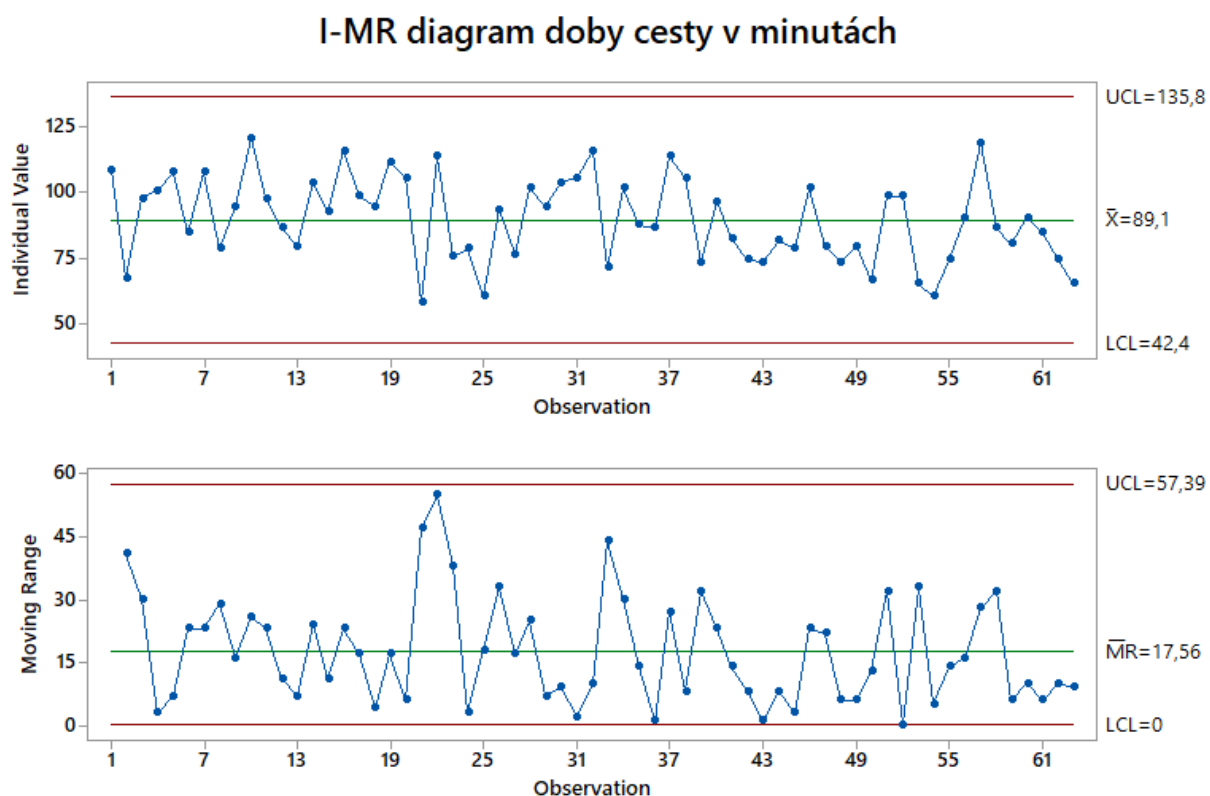
Doba cesty



Obrázek 3.8: Diagram doby cesty

V I diagramu selhal bod 9 pro test 1. V MR diagramu selhaly body 9,10 pro test 1. Rozhodla jsem se opět vynechat bod 9, protože je jeho selhání způsobeno nehodou na cestě, a znovu vykreslit diagram.

3.2. DATA SE SPOJITOU VELIČINOU



Obrázek 3.9: Diagram doby cesty - upravený

Nyní je proces v ohledu na dobu cesty stabilní.

Zařídít celkovou stabilitu u tohoto typu měření dat ovšem nelze. Je příliš mnoho okolních faktorů, které celkové výsledky ovlivňují a které nelze v procesu ovlivnit v náš prospěch.

4 Závěr

Z této práce vyplývá, že u použitých reálných dat existuje mnoho faktorů, které mohou nepříznivě ovlivnit stabilitu procesu.

Na datech z výroby světlometů pro automobily byly aplikovány diagramy pro atributivní veličinu. Došli jsme k závěru, že na vzniku nestability procesu se nejvíce podílel především lidský faktor a vady robotů, kteří byli do výroby zapojeni. To nám vyplynulo z výsledků np diagramu při posouzení testy vymezitelných příčin. Nestabilita procesu způsobila vyšší výskyt vadných kusů v cyklech výroby.

Dále jsme posuzovali data, která byla naměřena při cestách autem mezi Olomoucí a Brnem. Jako spojitá veličina byl u těchto dat použit čas. Pomocí I-MR diagramu se sledovala spotřeba auta na 100 km, stabilita dle průměrné rychlosti a doby cesty. Na vzniku nestability se v těchto případech podíleli zejména rozdílnost kvality pneumatik, hustota dopravy, výskyt dopravních nehod a chyby měření.

Někdy je náročné dohledat důvod vzniku výchylek. Z výsledků nám však vyplývá, že regulační diagramy jsou vhodné pro posouzení zvláštních případů vzniklých při měření dat.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Douglas C. Montgomery, George C.: *Applied statistics and probability for engineers*. Wiley, USA 2014. ISBN 978-1-11853-971-2
- [2] MELOUN, M., MILITKÝ, J.: *Kompendium statistického zpracování dat*. Accademica, Praha 2006. ISBN 80-200-1396-2
- [3] *Minitab User's Guide 2: Data Analysis and Quality tools*. USA 2000.
- [4] ČSN ISO 8258:1994. *Shewhartovy regulační diagramy*. 1994.
- [5] ČSN ISO 7873:1995. *Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi*. 1995.
- [6] ČSN ISO 7870-2:2018. *Regulační diagramy - Část 2: Shewhartovy regulační diagramy*. 2018.

Seznam použitých zkratek a symbolů

n	rozsah výběru
m	počet skupin
\bar{X}	průměrná hodnota znaku
S	výběrová směrodatná odchylka
\bar{S}	průměrná hodnota výběrové směrodatné odchylky
R	rozpětí v podskupině
\bar{R}	průměrná hodnota rozpětí v podskupině
μ	střední hodnota
σ	skutečná hodnota směrodatné odchylky
CL	centrální přímká
UCL	horní regulační mez
LCL	dolní regulační mez
p	podíl neshodných jednotek v podskupině rozsahu n
\bar{p}	průměrná hodnota podílu neshodných jednotek v podskupinách rozsahu n
np	počet neshodných jednotek v podskupině rozsahu n
c	počet neshod v podskupině
\bar{c}	průměrná hodnota počtu neshod v podskupině
u	počet neshod na jednotku v podskupině
\bar{u}	průměrná hodnota počtu neshod na jednotku v podskupině

Seznam příloh

K práci je přiložené CD obsahující:

- Minitab 18: Data s atributivní veličinou
- Minitab 18: Data se spojitou veličinou